

СЕКЦИЯ 1: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ПОРОШКОВ КОБАЛЬТА, ХРОМА И МОЛИБДЕНА НА ПОРИСТОСТЬ ОБРАЗЦОВ

Н.А. Сапрыкина¹, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин^{1,а}, к.т.н., доц., Ю.П. Шаркеев², д.т.н., проф.,

Е.А. Ибрагимов¹, к.т.н., ст. препод., М.А. Химич², к.т.н.

*¹Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская область, г.Юрга, Ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-61*

²Институт физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук

634055, Томская область, г. Томск, Академический пр., 2/4

e-mail: saprikina@tpu.ru^а

Аннотация: Сплавы на основе кобальта обладают хорошей износостойкостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью и усталостной прочностью. В работе определены оптимальные параметры режима селективного лазерного плавления (скорость сканирования $V = 450$ мм/с, мощность лазера $P=100$ Вт, шаг сканирования $s= 100$ мкм, толщина слоя порошка была установлена на уровне $h=30$ мкм) для формирования образцов с меньшей пористостью из порошковой композиции 66 мас. % Co, 28 мас. % Cr, 6 мас. % Mo смешанных механически. Наблюдается нелинейное изменение пористости.

Abstract: Cobalt-based alloys have good wear resistance, heat resistance, corrosion resistance and fatigue strength. The optimal parameters of the selective laser melting mode (scanning speed $V = 450$ mm/s, laser power $P=100$ W, scanning step $s= 100$ microns, the thickness of the powder layer was set at $h=30$ microns) for the formation of samples with lower porosity from a powder composition of 66 wt. % Co, 28 wt. % Cr, 6 wt. % Mo mixed mechanically. A nonlinear change in porosity is observed.

Ключевые слова: селективное лазерное плавление (SLM); кобальтовый сплав; аддитивное производство; пористость.

Keywords: selective laser melting (SLM); cobalt alloy; additive manufacturing; porosity.

Свобода проектирования процесса селективного лазерного плавления (СЛП) в порошковом слое позволяет гибко изготавливать геометрически сложные детали непосредственно из моделей САПР. Сплавы на основе кобальта обладают хорошей износостойкостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью и усталостной прочностью. Это позволяет широко использовать сплавы для изготовления изделий, предназначенных для работы при высоких температурах и в агрессивной среде. Селективное лазерное плавление это процесс послойного изготовления твердотельных трехмерных деталей любой геометрической сложности с помощью лазера путем сканирования слоя порошка в соответствии с компьютерной моделью проектирования [1].

Процесс изготовления детали влияет на ее механические свойства. Способы получения изделий из сплавов на основе кобальта включают литье, резание и ковку, которые обычно трудно выполнить из-за высокой температуры плавления, твердости и ограниченной пластичности материала [2]. Кроме того, при литье образуется крупное зерно и металлургические дефекты, которые приводят к ухудшению механических свойств. Технология селективного лазерного плавления является перспективной для производства геометрически сложных деталей непосредственно из моделей САПР с точки зрения стоимости, улучшенной повторяемости по сравнению с традиционными производственными процессами. Так же СЛП позволяет изготавливать сплав с уникальной структурой, фазовым составом и комплексом физико-механических свойств, которые сложно получить традиционными способами изготовления [3].

Целью данной работы является определение оптимальных параметров режима селективного лазерного плавления для формирования малопористых образцов из порошков кобальта, хрома и молибдена смешанных механически.

Для получения сплава системы Co-Cr-Mo методом селективного лазерного плавления взят порошок производства АО «Полема» (г. Тула) [4] кобальта, хрома и молибдена (66 мас. % Co, 28 мас. % Cr, 6 мас. % Mo). Порошки имеют форму, близкую к сферической, размер частиц 20-70 мкм. Исходный материал в указанной пропорции был помещен в емкость и подвержен механическому перемешиванию в течение 15 мин. Эксперименты по созданию образцов проведены на установке ВАРИСКАФ-100МВС в инертной среде аргона. Основываясь на предыдущих исследованиях и понимании технологии СЛП, толщина слоя порошка была установлена на уровне $h=30$ мкм, параметры лазера варьировались (скорость сканирования $V=(50 - 90)$ мм/с, (300-400) мм/с, мощность лазера $P=100$ Вт, шаг сканирования $s= 100$ мкм), режим лазера импульсный $m=5000$ Гц. Данные интервалы были выбраны для предотвращения эффекта испарения или недостаточного плавления и для обеспече-

ния быстрого изготовления образцов [5, 6]. Схема перемещения луча лазера построчная по областям с направлением штриховки взаимоперпендикулярно от слоя к слою. Были изготовлены образцы квадратной формы со стороной 10 мм, содержащие 15 слоев. Когда скорость сканирования лежит в диапазоне 50-90 мм/с наблюдается коробление поверхности образцов, возникают трещины вследствие высоких термических напряжений [7, 8]. Увеличение скорости до 300-400 мм/с приводит к уменьшению напряжения. Затем была проведена оптимизация параметров селективного лазерного плавления для получения образцов с меньшей пористостью и небольшими термическими напряжениями [9, 10, 11]. Далее представлены снимки, выполненные в трех разных местах каждого образца, рис. 1.

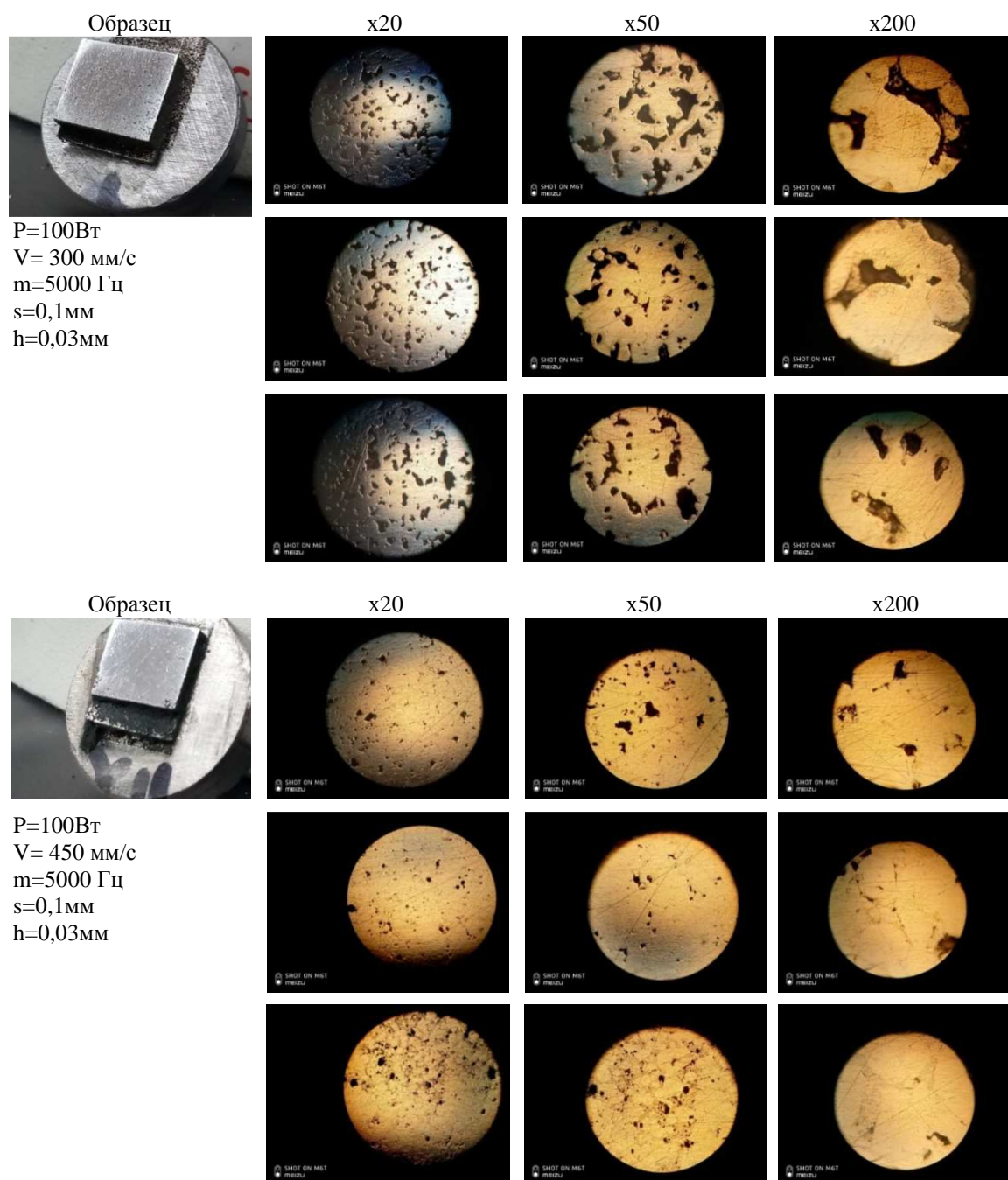


Рис. 1. Фотографии структуры образцов, полученных методом СЛП

По оптическим изображениям, снятым со шлифов поверхностей полученных образцов, видно, что на данных режимах при увеличении скорости сканирования достигается наименьшая объемная пористость, значение которой уменьшается нелинейно. Пористость рассчитывалась на основе данных, полученных из оптических изображений шлифов. Ее минимальное значение достигается при скорости сканирования 450 мм/с.

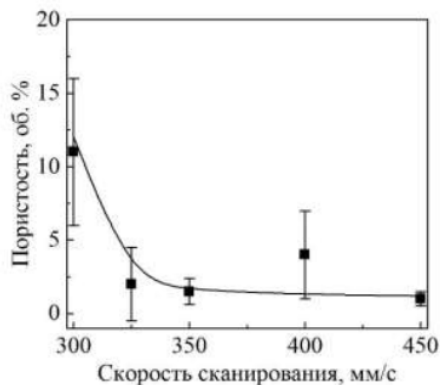


Рис. 2. Влияние скорости сканирования на пористость, формируемую в объемных образцах

Однако, следует отметить, что при увеличении скорости сканирования выше 350 мм/с на оптических изображениях шлифов поверхности полученных образцов отчетливо видны «непроплавы». Вероятнее всего это связано с уменьшением удельной тепловой энергии при увеличении скорости сканирования, что приводит к частичному переплаву порошка.

В работе определены оптимальные параметры режима селективного лазерного плавления (скорость сканирования $V = 450$ мм/с, мощность лазера $P=100$ Вт, шаг сканирования $s=100$ мкм, толщина слоя порошка была установлена на уровне $h=30$ мкм) для формирования образцов с меньшей пористостью из порошковой композиции 66 мас. % Co, 28 мас. % Cr, 6 мас. % Mo смешанных механически. Наблюдается нелинейное изменение пористости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Томской области в рамках научного проекта № 19-48-700022 p_a»

Список используемых источников:

1. T. Mukherjee, J.S. Zuback, A. De, T. DebRoy Printability of alloys for additive manufacturing Nature Sci Rep, 6 (2016), p. 19717
2. L. Hitzler, F. Alifui-Segbaya, P. Williams, B. Heine, M. Heitzmann, W. Hall, et al. Additive manufacturing of cobalt-based dental alloys: analysis of microstructure and physicomechanical properties Adv Mater Sci Eng, 2018 (2018), p. 8213023
3. K.M. Mantrala, M. Das, V.K. Balla, C.S. Rao, V.V.S. Kesava Rao Additive manufacturing of Co-Cr-Mo alloy: influence of heat treatment on microstructure, tribological, and electrochemical properties Front Mech Eng, 1 (2015), p. 2
4. Yu. P. Sharkeev, A. Yu. Eroshenko, Zh. G. Kovalevskaya, A. A. Saprykin, E. A. Ibragimov, I. A. Glukhov, M. A. Chimich, P. V. Uvarin, E. V. Babakova, Phase Composition and Microstructure of Ti-Nb Alloy Produced by Selective Laser Melting, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, 140(1), 012020.
5. A. A. Saprykin, Yu. P. Sharkeev, E. A. Ibragimov, E. V. Babakova, Zh. G. Kovalevskaya, A. Yu. Eroshenko, M. A. Khimich, P. V. Uvarin, I. A. Glukhov, Synthesizing conditions and structural-phase state of Ti-Nb alloy when selective laser melting ECCM 2016, Proceeding of the 17th European Conference on Composite Materials, 2016.
6. A. A. Saprykin, N. A. Saprykina, D. V. Dudikhin, S. M. Emelyanenko, Influence of layer-by-layer laser sintering modes on the thickness of sintered layer of cobalt-chromium-molybdenum powder, Advanced Materials Research, 2014, 1040, pp. 805-808.
7. Н.А. Сапрыкина, А.А. Сапрыкин, Влияние условий послойного лазерного спекания на качество спеченного поверхностного слоя из кобальтхроммолибденового порошка, Актуальные проблемы в машиностроении: материалы первой Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 26 Марта 2014. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014 - С. 119-123 [433004-2014]
8. X. Zhou, K. Li, D. Zhang, X. Liu, J. Ma, W. Liu, Z. Shen, Textures formed in a CoCrMo alloy by selective laser melting, J. Alloys Compd, 2015, 631, pp. 153-164.
9. A. Takaichi, Suyalatu, T. Nakamoto, N. Joko, N. Nomura, Y. Tsutsumi, S. Migita, H. Doi, S. Kurosu, A. Chiba, N. Wakabayashi, Y. Igarashi, T. Hanawa, Microstructures and mechanical properties of Co-

- 29Cr-6Mo alloy fabricated by selective laser melting process for dental applications, J. Mech. Behav. Biomed. Mater., 2013, 21, pp. 67-76.
10. M. Zhang, Y. Yang, C. Song, Y. Bai, Z. Xiao, An investigation into the aging behavior of CoCrMo alloys fabricated by selective laser melting, J. Alloys Compd., 2018, 750, 878–886.

БЕСКОНТАКТНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ДИСКОВ

О.Г. Девойно¹, д.т.н., проф., З.М. Луцкович¹, студент, А. П. Пилипчук^{2,а}, к.т.н., доц.

¹Белорусский национальный технический университет,

²20013, г. Минск, пр. Независимости, 65 Республика Беларусь.

2 Военная академия Республики Беларусь

²20057, г. Минск, пр. Независимости, 220, Республика Беларусь

^аE-mail: vikmech@mail.ru

Аннотация: В работе обоснована необходимость исследования и выявления закономерностей процесса формирования напряженно-деформированного состояния при лазерной обработке. При лазерном нагреве возникают окружные напряжения, превышающие предел текучести. Представлен результат эксперимента по бесконтактной лазерной деформации стального диска.

Abstract: The article substantiates the need to study and identify the regularities of the process of formation of the stress-strain state during laser processing. During laser heating, circumferential stresses arise that exceed the yield point. The result of an experiment on non-contact laser deformation of a steel disk is presented. Ключевые слова: лазерная обработка, температурные напряжения, остаточные напряжения.

Keywords: laser processing, temperature stresses, residual stresses.

Ключевые слова: лазерная обработка, температурные напряжения, остаточные напряжения.

В настоящее время перспективным направлением лазерной технологии является бесконтактное деформирование (Laser beam forming/LBF) деталей в результате локального поверхностного нагрева [1 – 4]. При лазерной обработке в поверхностном слое в результате неравномерного нагрева, высоких скоростей охлаждения зоны обработки и изменений объемов материала вследствие температурного расширения возникают остаточные напряжения. Остаточные напряжения достигают значительных величин и в сумме с действующим внешним напряжением формируют результирующее напряженное состояние, являясь причиной образования трещин [5]. В работах [2,3] обоснована целесообразность создания в металлических материалах на определенных участках областей остаточных напряжений, равных по величине и противоположных по знаку напряжениям, которые возникают на этих участках при действии эксплуатационных нагрузок. Реализация данного подхода позволяет повысить жесткость или величину допустимых нагрузок, снизить материалоемкость изделия. Для создания зон с требуемым уровнем остаточных напряжений используется локальный лазерный нагрев, в том числе и с изменением химического состава материала. Управлять величиной, знаком и характером распределения остаточных напряжений можно, изменяя режимы облучения (импульсный, непрерывный, мощность, время), топографию размещения зон нагрева, применяя различные материалы. По сути появляется возможность с помощью лазерного облучения создавать в металлических материалах структурные ребра жесткости.

Отмеченные обстоятельства определяют необходимость исследования и выявления закономерностей процесса формирования напряженно-деформированного состояния при лазерной обработке. Эффективным способом исследования процесса формирования остаточных напряжений в настоящее время является математическое моделирование на основе решения задач теории упругости и пластичности. Выбор в качестве объекта исследования диска определяется тем, что при решении задачи о расчете пластин с прямоугольным очертанием контура прогибы и напряжения определяются в функции не одного, а двух независимых переменных. Под воздействием неоднородного температурного поля в теле возникают радиальные и окружные напряжения (рис. 1). На основе известных методик [6,7] для двух вариантов температурного поля (рис. 2) выполнен расчет радиальных и окружных напряжений (рис. 5,6), возникающих при нагреве диска.